دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده فنی و مهندسی

گروه برق

پایان نامه کارشناسی ارشد

عنوان:

کنترل سرعت موتورهای القایی خطی به روش کنترل برداری

اساتید راهنما:

دکتر رزاز - دکتر مرتضوی

استادمشاور:

دکتر جورابیان

نگارش:

علی کریمی پویا

دی ماه ۱۳۸۹

Faculty of engineering

Electrical department

M.Sc.thesis

SPEED CONTROL OF LINEAR INDUCTION MOTORS USING VECTOR CONTROL

Supervisors:

Dr.Razaz & Dr.Mortazavie

Advisor:

Dr.Jorabiyan

Edited by:

Ali Karimi pouya

مدیریت تحصیلات تکمیلی تاریخ.....

پیوست.....

بسمه تعالی

(نتیجه ارزشیابی پایان نامه دوره کارشناسی ارشد)

بدینوسیله گواهی می گردد پایان نامه آقای **علی کریمی پویا** دانشجوی رشته **مهندسی برق قدرت** از دانشکده مهندسی بشماره دانشجوی ۸۵۴۰۲۱۰

تحت عنوان: **کنترل سرعت موتور القایی خطی به روش کنترل برداری**

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در تاریخ ۸۹/۱۰/۲۰ توسط هیئت داوران مورد ارزشیابی قرار گرفت و با درجه تصویب گردید.

۱- اعضاء هیئت داوران:	مرتبه علمی	امضاء
الف: استاد راهنما ی اول: **سعیداله مرتضوی**	استادیار	
استاد راهنمای دوم: **دکتر مرتضی رزاز**	استادیار	
ب: استاد مشاور: **دکتر محمود جورابیان**	دانشیار	
ج: داور ۱: **دکتر عبدالنبی کوثریان**	استادیار	
د: داور ۲: **دکتر محسن صنیعی**	استادیار	
ه: نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه(استاد ناظر)		
دکتر کریم انصاری	استادیار	
۲- مدیر گروه: **دکتر رضا کیانی نژاد**	دانشیار	

۳- معاون پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده: **دکتر سیدرضا علوی زارع**

۴- مدیر کل تحصیلات تکمیلی: **دکتر رحیم پیغان**

چکیده :

در این پایان نامه بلوک موتورالقایی خطی در نرم افزار MATLAB / SIMULINK، با توجه به قابلیت‌ها و انعطاف پذیری این نرم افزار شبیه‌سازی شده است. مدل مدار معادل موتور القایی خطی براساس مدل موتور القایی دوار و مناسب برای کنترل برداری با جهت یابی شار رتور شبیه سازی شده است. اثرات لبه‌های انتهایی به صورت ضرایب متغیر با سرعت در اندوکتانس مغناطیس کننده و مقاومت سری با آن در مدار معادل محور d در نظر گرفته شده است. در معادلات شار و گشتاور نیز تغییراتی ایجاد شده است. هم چنین اصول اساسی کنترل برداری به کار برده شده برای درایوهای القایی مورد بحث قرار گرفته است. در شبیه‌سازی‌ها نیز استراتژی کنترل برداری غیرمستقیم با جهت‌گیری شار رتور و کنترل جریان استاتور استفاده شده است. هدف کنترل بر مبنای میدان (FOC) حفظ و نگهداری ثابت شار ثانویه محورd و قراردادن شار ثانویه محور q برابر صفر است. این نوع کنترل برای موتور القایی خطی می تواند به همان شیوه موتور القائی دوار آنالیز شود. این نوع کنترل (میدان گرایی)، از شار روتور و فیدبک گشتاور پیچشی استفاده می کند. فرض بردریافت مستقیم یا با استفاده از تخمین زننده شار شده است. در این تحقیق، به دو روش، سرعت موتور القایی خطی کنترل می شود. در روش اول از کنترل کننده های PI استفاده می گردد. در روش دوم از کنترل کننده های منطقی فازی استفاده می شود. در هر مورد نتایج حاصل از شبیه‌سازی بررسی و مقایسه می گردد.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول:

مقدمه ۱

فصل دوم : معرفی روشهای کنترل سرعت موتورهای القایی

۲-۱ مقدمه: ۹

۲-۲ کنترل اسکالر :..... ۱۰

۲-۲-۱ محرک با موتور القایی :..... ۱۱

۲-۲-۲ کنترل ولتاژ استاتور:..... ۱۳

۲-۲-۳ کنترل فرکانس:..... ۱۵

۲-۲-۴ کنترل ولتاژ و فرکانس:..... ۱۶

۲-۲-۵ کنترل جریان :..... ۱۸

۲-۲-۶ کنترل ولتاژ و فرکانس:..... ۲۱

۲-۳ کنترل برداری[2]:..... ۲۲

۲-۴ کنترل مستقیم گشتاور.....۲۵

۲-۵ کنترل هوشمند.....۲۶

۲-۵-۱ کنترل با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی.....۲۶

۲-۵-۲ کنترل با استفاده از الگوریتم ژنتیک.....۲۷

فصل سوم: شبیه‌سازی موتورهای القایی خطی

۳-۱ مقدمه.....۲۸

۳-۲ انواع موتورهای الکتریکی خطی عبارتند از :..... ۲۹
۳-۳ کاربردها : ۳۰
۳ـ۴ ساختمان موتور القایی خطی و انواع آن.....۳۰
۳-۴-۱ تقسیم بندی ساختمان ظاهر.....۳۱
۳-۵ تقسیم‌بندی موتورهای القایی خطی از جنبه فوران میدان مغناطیسی..... ۳۲
۳-۵-۱ شناورسازی مغناطیسی.....۳۳
۳-۶ اثر لبه طولی.....۳۶
۳-۷ اثر لبه عرضی:... .....۳۷
۳-۸ روابط الکترو مغناطیسی موتور القایی خطی..... ۳۸
۳-۹ شبیه سازی موتور القایی خطی ۴۲
۳-۱۰ ارائه مدل جدید برای موتورالقایی خطی براساس مدل موتور دوار.....۴۶
۳-۱۰ – ۱ – مدل کامل ماشین القایی دوار.....۴۷
۳-۱۰ – ۲ – مدار معادل برای موتور القایی خطی.....۴۸

فصل چهار: مدلسازی وشبیه سازی طرح‌کنترل برداری غیر مستقیم

۴-۱ مقدمه:..... ۵۹
۴-۲ مزایای نرم افزار مطلب و جعبه ابزار سیمولینک جهت شبیه سازی.....۶۱
۴-۳ بررسی معادلات دینامیکی موتور القایی خطی.....۶۱
۴-۳-۱ معادلات ماشین القایی در مختصات مرجع دلخواه.....۶۲
۴-۳-۲ محاسبه شارهای استاتور، رتور و فاصله هوایی.....۶۳
۴-۳-۳ محاسبه گشتاور الکتریکی.....۶۳
۴-۳-۴ معادلات دیفرانسیل موتور القایی با تغذیه ولتاژ.....۶۴
۴-۳-۵ معادلات دیفرانسیل موتور القایی باتغذیه جریان.....۶۵
۴-۴ شبیه سازی کنترل برداری غیرمستقیم با جهت یابی شار رتور:..... ۶۵
۴-۴-۱ شبیه سازی ۶۵
۴-۵ اصول کنترل برداری.....۶۶
۴-۵-۱ جهت‌دهی میدان مغناطیسی.....۶۷

۴-۵-۲ جهت‌دهی شار روتور به منظور انجام کنترل برداری ۶۸
۴-۶ کنترل برداری به روش مستقیم و غیر مستقیم.....۶۹
۴-۶-۱ کنترل برداری مستقیم.....۶۹
۴-۶-۲ کنترل برداری غیر مستقیم.....۷۳
۴-۷ طرح کنترل برداری غیرمستقیم.....۷۶
۴-۸ بلوک دیاگرام های استفاده شده در کنترل برداری غیر مستقیم:..... ۷۸
۴-۸-۱ بلوک محاسبه i^*_{ds}.....۷۸
۴-۸-۲ بلوک محاسبه ψ_r.....۷۸
۴-۸-۳ بلوک محاسبه θ_e :..... ۷۹
۴-۸-۴ بلوک abc-dq:..... ۸۱
۴-۸-۵ بلوک dq-abc:..... ۸۲
۴-۹ کنترل کننده شار.....۸۳
۴-۱۰ کنترل کننده ها و معیارهای کنترل.....۸۵
۴-۱۰-۱ کنترل کننده PI.....۸۵
۴-۱۰-۲ کنترل کننده جریان حلقه DC با رگولاتور PI..... ۸۷
۴-۱۰-۳ کنترل کننده منطق فازی.....۹۰
۴-۱۰-۴ طراحی کنترلر منطقی Fuzzy..... ۹۱

فصل پنجم: نتایج شبیه‌سازی

۵-۱-مقدمه.....۹۵
۵-۲-تستهای انجام شده در کنترل برداری موتور القایی خطی.....۹۶
۵-۲-۱ تست راه اندازی:..... ۹۶
۵-۲-۲ تست حذف اثر بار.....۹۶
۵-۲-۳-تست تغییر جهت سرعت: ۹۶
۵-۲-۴-خطای حالت ماندگار.....۹۷

۵-۲-۵- رفتار دینامیکی حالت گذرا.....۹۷
۵-۲-۶-عملکرد در سرعتهای بالا.....۹۷
۵-۳ شبیه سازی کنترل برداری غیر مستقیم با کنترلر ۹۸
۵-۴ نتایج شبیه‌سازی مدار معدل موتور القایی خطی.....۹۹
۵-۵-نتایج شبیه سازی کنترل برداری غیر مستقیم با کنترلر ۱۰۲
۵-۵-۱تست راه اندازی.....۱۰۲
۵-۵-۲ تست حذف اثر بار ۱۰۳
۵-۵-۳ تست تغییر جهت سرعت.....۱۰۵
۵-۶ شبیه سازی کنترل برداری غیر مستقیم با ترکیبی از کنترلر PI و کنترلر FUZZY.....۱۰۹
۵-۷ شبیه سازی کنترل برداری غیر مستقیم با کنترلر فازی ۱۱۶
۵-۷-۱تست راه اندازی.....۱۱۷
۵-۷-۲تست تغییر جهت سرعت.....۱۱۸

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۶-۱ نتیجه گیری : ۱۲۳
۶-۲ پیشنهادات:.....۱۲۵

فصل اول

مقدمه

اولین بار ایده موتور خطی توسط پرفسور اریک لیتویت از امپریال کالج در لندن مطرح شد. در طرح وی و در اکثر طرح‌های شتاب پایین، نیرو توسط یک میدان مغناطیسی خطی سیار که بر روی هادی‌های موجود در میدان عمل می‌کند، ایجاد می شود. در هر هادی چه یک حلقه، چه یک سیم‌پیچ یا یک تکه از فلز تخت که در این میدان قرار گیرد جریان‌های گردابی القا شده وجود خواهد داشت و بنابراین یک میدان مغناطیسی مخالف را ایجاد خواهد کرد. دو میدان مغناطیسی

همدیگر را دفع کرده و بنابراین جسم هادی را از استاتور دور می گردد و در طول و جهت میدان مغناطیسی سیار حمل می شود. به علت این ویژگی‌ها، موتور خطی اغلب در پیشرانه قطار مگلیو به کار می‌رود هر چند که می‌توان شناور سازی میدان مغناطیسی از آنها استفاده کرد، مانند استفاده در فن‌آوری انتقال پیشرفته و سریع نور که در سیستم ترن آسمانی ونکوو، Scarborough RT تورنتو، ترن هوایی فرودگاه JGK نیویورک و Putra RTL کووالالامپور به کار می‌رود. از این فن‌آوری با تغییراتی در برخی از قطارهای بازی نیز استفاده می‌شود. موتورهای خطی عمودی نیز برای مکانیسم‌های بالابر در معدن های عمیق پیشنهاد شده است. به طور کلی از مزایای موتورهای القایی خطی به موارد ذیل می‌توان اشاره کرد:

- شتاب‌گیری و ترمز سریع با حداقل فرسایش.

- ساختمان ساده و سادگی خدمات نگهداری، تعمیر و تعویض قطعات.

- وجود نیروی قائم که به عنوان نیروی بالابرنده و هم چنین ایجاد حالت تعلیق مغناطیسی از آن استفاده می‌شود.

در مقابل مزایای فوق، پدیده‌های منحصر به فردی نیز در این موتورها وجود دارند که ناشی از ساختار فیزیکی خاص این موتورها است. برای دست یابی به نتایج قابل قبول باید نکاتی مورد توجه قرار گیرند که عبارتند از :

- وجود اثرات لبه‌های انتهایی که ناشی از طول محدود مدار مغناطیسی در امتداد مسیر حرکت موتور است و در عملکرد موتور اثر منفی دارد. البته در کاربردهای با سرعت پایین این اثر قابل چشم‌پوشی است.

- وجود فاصله هوایی نسبتاً بزرگ و در نتیجه کاهش راندمان و ضریب قدرت.

- عدم پیوستگی در هادی ثانویه در مسیرهای طولانی و در نتیجه قطع مسیر جریان در ثانویه که اثر منفی روی کیفیت حرکت به خصوص در موتورهای سبک و با سرعت کم دارد و به صورت نیروهای ضربه‌ای بروز می‌کند. در گذشته موتور القایی خطی به عنوان حرکت الکتریکی برای یک

سیستم جدید عبور شهری با سرعت ۴۰ تا ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت در بعضی از کشورها مثل چین در گوانجو و پکن ساخته شده است. با این سیستم هزینه ساخت راه زیر زمینی کاهش می یابد زیرا قسمت وسط فضای تونل کوچک تر می شود. از این گذشته موتور خطی زیر زمینی فایده های خاص دارد؛ به علت نبود چسبندگی، طول ریل آهن مختصر وکوتاه می شود زیرا وسایل نقلیه به راحتی ازشیب تند بالا می رود و چرخش تند پیچ و کیفیت سواری بهبود می یابد .

با افزایش اهمیت موتور های خطی زیر زمینی به عنوان یک سیستم جدید رفت وآمد شهری، یک موضوع مهم در تحقیق موتورهای القایی خطی می شود. مصرف انرژی در موتور های خطی زیر زمینی بیشتر است از موتور های دیگر است. به همین دلیل محققان برطرح بازده بالا موتورهای القایی خطی متمرکز شدند. [۲] . در مترو خطی هر کجا نیاز باشد، باید سرعت یا فشار موتور تنظیم شود. عملا بهینه سازی بازده موتور القایی برای یک بازه نامحدود ممکن نیست. لذا برای هر مسیر عملیاتی (متناسب با طرح پیشرفت ماشین) باید بهینه سازی متناسب انجام شود. در عمل،کارایی موتورهای القایی خطی با استفاده از کنترل کننده مناسب ارتقاء می یابد.

کنترل میدان معین جهت دار (FOC) موتور القایی خطی قابلیتی سریع و دقیق به کنترل نیروی فشار موتور الکترومغناطیسی می دهد. به دلیل سرعت سریع واکنش، نیاز است که موتور در شار مجاز و در مقادیر پایین فشار کار کند. بنابراین بازده و توان می تواند ناچیز باشد. در فشار بالاتر نیروی موتور ، دانش دقیق از مقاومت خطی مناسبی نیاز است.

کلید حل مشکل بیشینه ساختن کارایی موتور القایی خطی، کنترل میزان تلفات انرژی بین مس وآهن است. این مشکل می تواند توسط یک طرح میدان معین حل شود.

الگوریتم میدان معین (جهت دار) باید ارتباط مناسب بین میدان قسمت ثابت موتور و جریان های گشتاور محاسبه کند. در این پایان نامه از یک مدل حرکتی خطی موتور القایی دوار استفاده شده، سپس با اضافه نمودن علت اثر نهایی و نیروی جاذبه تکمیل می گردد. در این سیستم، روش کنترلی مناسب نیاز است تا تلفات آهن ومس موتور القایی خطی را محدود کند. طراحی این کنترل

کننده بر مبنای استراتژی کنترل میدان معین (جهت دار)، پیشنهاد می شود. این کنترلر تلفات الکترومغناطیسی را برای تغییرات معین سرعت و نیروی موتور کاهش می‌دهد[12]. موتورهای القایی خطی(LIM)، خصوصیات اجرائی بسیار خوبی مانند نیروی محرک شروع بالا، کاهش انتقال بین موتور و دستگاه های حرکتی، کاهش خسارات مکانیکی و اندازه ی دستگاه های حرکتی، عملکرد سریع السیر، ترمز و غیره دارند. به علت این مزایا، LIM خیلی زیاد در فرآیند های صنعتی و کاربردهای حمل و نقل و انتقال استفاده می شود. مبادی و اصول محرک LIM شبیه به موتور القایی چرخشی سنتی (RIM) است، در حالی که مشخصه های کنترلی آن از RIM پیچیده تر است. پارامترهای این موتور به علت تغییر موقعیت های عملیاتی مانند سرعت حرکت دهنده، دما، و وضعیت و پیکربندی ریل متغیر با زمان است. این اختلافات پارامتری قابل توجه LIM وابسته به ضریب مقاومت ریل، چاک دینامیکی، فرکانس لغزش، فاز بودن تعادل، اشباع اندوکتانس مغناطیسی و اثرات دیگر است. از این رو بدست آوردن مدل دقیق ریاضی آن سخت و مشکل است. اگر چه تحقیقات بسیاری در این باره صورت پذیرفته، لکن تغییرات و اختلافات خیلی مهمی را در بررسی ها در نمونه و مدل دینامیکی LIM پذیرفته اند. از این رو هنوز نامعلومی و عدم قطعیت هایی در مدل آن وجود دارد. این اختلافات پیش بینی نشده پارامتری دستگاه، اختلال نیروی بیرونی و دینامیکی های غیرخطی را ایجاب می کند. این پیچیدگی ها در کاربردهای LIM پیچیدگی طراحی کنترل کننده های را طلب کرده و لزوم خود تنظیمی کنترل کننده را می افزاید. از طرفی، مدل دینامیکی LIM می تواند به صورت مدل دینامیکی RIM باز شده تصور شود. در نتیجه کنترل میدان گرا به طور مشترک در RIM استفاده می شود. هم چنین باعث می‌شود نیروی موتور مستقل از دامنه ی شاره LIM شود . انگیزه ی این پایان نامه ساده کردن مدل دینامیکی LIM و طراحی کنترلی مناسب برای مواجه شدن با نامعلومی ها موجود در محرک LIM میدان گرا است . در یک LIM ، سیم پیچ اولیه مطابق با سیم پیچ استاتور مورتو القایی چرخشی (دورانی RIM) است، در حالی که سیم پیچ ثانویه با روتور تطابق دارد. چند تفاوت خصوصیتی میان RIM و LIM

وجود دارد. تفاوت عمده این است که نوع اولیه ی LIM طولی محدود دارد پس بنابراین میدانی حاشیه دار در هر دو پایانه ی اولیه وجود دارد . نوع ثانویه ی نامحدود وارد میدان شکاف هوایی می شودکه شار مغناطیسی همراه آن انتقال می دهد و توزیع غیر یکنواخت مقدارهای الکترومغناطیسی ایجاد می کند که منجر به تلفات مکانیکی و الکتریکی قابل توجهی می شود. تلفات همانند تضعیف مقطع شار مغناطیسی به محض اینکه سرعت افزایش می یابد شدیدتر می شوند. چنین پدیده ای اثر انتهایی LIM نامیده می شود. لذا مدل مدار معادل دقیق برای کنترل عملکرد حرکت و رانش LIM لازم و ضروری می باشد. بیشتر مدل های LIM موجود براساس نظریه ی میدان هستند. از این رو نمی توانند مستقیما برای کنترل غیر خطی به کار روند و در اکثر بررسی های حاضر مدل RIM به منظور کنترل استفاده می شود. به دلیل اثر انتهایی، این مدل در سرعت بالا نمی تواند معتبر باشد. هدف اصلی این پایان نامه معرفی کنترل کننده ی غیر خطی نیرومند برای LIM می باشد که مقاوم دربرابر نیروی بار ناشناخته خارجی در عملکرد سرعت بالا و پایین خواهد بود. مرجع[۸] طرح کنترل جهت دار میدان ثانویه برای LIM با اثر پایانی را شرح داده است و استحکام و نیرومندی مورد توجه قرار گرفته است. سیستم‌های الکترومغناطیسی حرکت خطی به دلیل توانایی شتاب/شتاب منفی، (کند شدن سرعت) استحکام و کنترل ساده شناخته شده‌اند. در این جا ویژگی‌های مغناطیسی و طرز کار موتور القایی خطی بررسی شده است. تحلیل‌های میدانی با اجزای طبیعی (اصلی) و فرعی نیروی الکترومغناطیسی در شکاف هوایی محور میدان کنترل شده LIM ارائه شده است. ثابت زمانی اولیه آرمیچر (روتور) تعیین شده است تا کنترل بردار را برای بدست آوردن رانش و شتاب بالا اجرا کند. به علاوه توزیع میدان شکاف هوایی نیز بررسی شده است.

موتور خطی الکتریکی که در هر دو جهت افقی و عمودی حرکت می‌کند. نیروی تولید شده بوسیله اینها در جهت افقی نیروی رانش، نیروی پیش رانش یا نیروی کشش نامیده می‌شود، در حالی که نیروی تولید شده در هواپیما در جهت رانش به عنوان نیروی عمود یا قائم نامیده می‌شود. وجود نیروی قائم یا عمود به عنوان محصول جانبی فرآیند تبدیل انرژی الکترو مغناطیسی تلقی می‌گردد.

در میان گونه‌های مختلف LMES، موتور القایی خطی(LSM) از نقطه نظر اجرا اهمیت بیشتری دارند و مورد استقبال بیشتری واقع شده‌اند.

موتور خطی مجموعه‌ای از مزایایی زیادی را در بر می گیرد. و توانایی این را دارند که در محیط نامطلوب مقاومت کنند. آنها برای حفاظت، تعمیر و جایگزینی مناسب هستند. و توانایی این را دارند که رانش را در حرکت اعمال کنند بدون اینکه تماس مکانیکی داشته باشند می‌توان آنها را در سرعت و رانش کنترل کرد. بنابراین موتورهای خطی برای کاربردهای حرکت خطی قابل اعتماد و مقاوم هستند.

از نقطه نظر اجراء LMES در سه گروه طبقه بندی می شود، ماشین‌های نیرو، ماشین‌های قدرت، ماشین‌های انرژی. ماشین‌های نیرو نسبتا مکانیک ساده‌ای دارند و در حالت توقف با سرعت بسیار پایین استفاده می‌شوند (کمتر از ۱۰m/s) و در کارهای عمده با اجرای کلی کاربرد ندارند. این ماشین‌ها در اندازه های کوچک بسیار مفید هستند. ماشین‌های قدرت در سرعت متوسط کاربرد و قابلیت بالایی دارند. ماشین‌های انرژی، ماشین‌های با کار کم هستند و شبیه به ماشین نیرو هستند اما قادرند تا رانش بسیار زیادی را تولید کنند.

در این پایان نامه رفتار الکترومغناطیسی موتور القایی خطی (LIM) تحت کنترل محور میدان بررسی شده است. اجزاء عمودی و فرعی فشردگی شار و تراکم نیروی الکترومغناطیسی در شکاف هوایی بررسی شده است. تا توزیع فضایی این اجزای نیرو در فاصله هوایی این دستگاه‌ها بررسی شود.

کنترل میدان محور غیر مستقیم موتور القایی خطی حرکت خطی کنترل بردار غیر مستقیم را به کار می‌گیرد تا حرکت خطی را با سرعت و شتاب بالایی ایجاد کند. اگرچه به کار گیری کنترل میدان محور مستقیم می‌تواند نسبت به پارامترهای متغیر ماشین کاملا مقاوم باشد. حساس بودن ارتباط شار شکاف هوا با استفاده از سنسورهای می‌تواند مشکل ساز و حتی گران باشد. این کنترل بردار غیر مستقیم شار آرمیچر نیاز به اتصال به سنسورها را حذف می‌کند، اما نیازمند دانش

پارامترهای دستگاه است و نسبت به تغییرات آن حساس می باشد.[۶] در این پایان‌نامه مدل جدیدی برای موتور القایی خطی ارائه شده است که برای کنترل برداری موتور القایی خطی مناسب است. در این مدل که براساس مدار معادل موتور دوار قرار دارد، طول موتور وابسته به سرعت موتور، تغییر می‌کند. اثر لبه انتهایی نیز با اضافه کردن ضرائب متغیر با سرعت به اندوکتانس مغناطیس کننده و مقاومت سری با آن در نظر گرفته شده است. هم چنین در معادلات شار و نیرو نیز تغییراتی داده شده است تا برای کنترل سرعت موتور القایی خطی مناسب باشد. معادلات موتور القایی خطی ارائه شده به صورت سیمولینک طراحی شده است.

در فصل دوم کلیه روش های کنترل سرعت موتورهای القایی معرفی می شوند و مورد بررسی قرار می گیرند.در فصل سوم اصول کنترل برداری بیان شده است و ضمن بیان مزایای کنترل برداری غیرمستقیم با جهت‌یابی شار رتور، معادلات مربوطه جهت طراحی سیستم کنترل نوشته شده است. در فصل چهارم ابتدا در مورد مشخصات ظاهری و ساختمان موتورهای القایی خطی و موارد کاربرد آن توضیحاتی داده شده است، سپس روابط اساسی حاکم بر رفتار موتورهای القایی خطی براساس تئوری دوبعدی آورده شده است موتور القایی شبیه‌سازی شده است. براساس مدار معادل موتور دوار و با ایجاد تغییراتی در آن مدار معادل جدیدی برای موتور القایی خطی ارائه شده است که برای روش کنترل برداری با جهت‌گیری شار رتور مناسب است. در فصل پنجم طرح کنترل برداری به روش غیر مستقیم شبیه سازی شده که در این شبیه سازی یک بار از کنترل کننده PI و بار دوم از کنترلر فازی استفاده می شود. در فصل ششم نتایج شبیه سازی کنترل سرعت موتور القایی خطی به دو روش PI و Fuzzy ارائه می شود. در فصل هفتم نیز نتیجه‌گیری نهایی انجام شده و پیشنهادات برای ادامه کار در این مبحث آورده شده است.

فصل دوم

معرفی روشهای

کنترل سرعت موتورهای القایی

۲-۱ مقدمه:

امروزه تکنیک های متعددی با درجه پیچیدگی متفاوت جهت کنترل موتورهای القایی مطرح است و می توان آنها را به دو دسته تقسیم کرد:

۱- کنترل اسکالر که از طریق کنترل اندازه متغیرها انجام می گیرد و در آن کنترل پاسخ حالت دایمی سیستم مورد نظر است.

۲- کنترل برداری که در آن اندازه و فاز متغیر ها کنترل می شوند. در این روش علاوه بر پاسخ حالت دایمی، پاسخ حالت دینامیکی نیز کنترل می شود.

کنترل اسکالر و برداری به روشهای متعدد قابل اجرا هستند. موتورهای القایی قفس سنجابی و روتور سیم پیچی شده به ترتیب در سال های ۱۸۸۹و۱۸۹۰ ساخته شدند. این موتورها تا مدت ها به عنوان موتورهای دور ثابت تلقی می شدند تا این که با امکان یافتن تغیر مقاومت مسیر روتور، تغیرگشتاور و تغیر سرعت (و بعد کنترل سرعت) آنها عملی گردید. لیکن تجهیزات مورد نیاز

کنترل سرعت، نسبتاً پیچیده و پر هزینه بودند و عمل کنترل سرعت آنها به صورت دستی انجام می گرفت. کنترل الکترونیکی درایوهای AC به طور رسمی در دهه ۱۹۳۰با پیدایش لامپ های گازی[۱] نظیر تیراترون ها[۲] و ایگنیترون ها[۳] امکان پذیر گردید.

وسپس عصر جدید کنترل با ظهور نیمه هادی های قدرت در دهه ۱۹۵۰ آغاز شد. تحقیقات در آن زمان بیشتر در طراحی و بهبود عملکرد درایوها و ..... بوده است. تا اوایل دهه ۱۹۷۰ پیشرفت های قابل ملاحظه ای در حوزه محرکه های ac وجود آمد اما تا آن زمان هم چنان عملکرد دینامیکی محرکه های dc بسیار بهتر از محرکه های ac بود. اگرچه ظهور روش های کنترل اسکالر در کنترل دور موتور القایی عملکرد رضایت بخشی را در حالت ماندگار ارائه می دادند ولی پاسخ دینامیکی آنها هم چنان ضعیف بود.

ابداع روش های کنترل برداری در اوایل دهه ۱۹۷۰ تا اواسط دهه ۱۹۹۰ و بکارگیری روش های جدید کنترل سرعت باعث شد عملکرد دینامیکی محرکه هایac با محرکه هایdc برابری کرده و حتی بهتر شود.

هدف از اجرای کنترل برداری در محرکه های القایی، کنترل ماشین القایی مشابه با ماشین dc تحریک مستقل است که در آن جریان استاتور به دو مولفه مستقل تجزیه می شودکه یکی از آنها مولد گشتاور و دیگری مولد شار می باشد. دامنه و فاز جریان های استاتور به طریقی کنترل می شوند که مولفه های جریان مولد گشتاور و مولد شار در طول شرایط دینامیک واستاتیک مجزا باقی بماند و مشخصه ها کنترل خطی گردد.

۲-۲ کنترل اسکالر:[۱۳]

در روش کنترل اسکالر جهت تغذیه موتور از انواع اینورتر ها ،مانند اینورتر منبع ولتاژ،منبع جریان یا سیکلوکنورتور استفاده می گردد.اگرچه ظهور روش های کنترل اسکالر در کنترل سرعت موتور-

1-Gas tubes

2-Thyratrons

3-Ignitrons

القایی عملکرد رضایت بخشی را درحالت ماندگار ارائه می دادند ولی پاسخ دینامیکی آنها هم چنان ضعیف بود.

۲-۲-۱ محرک با موتور القایی :

موتورهای القایی سه فاز در محرک های با سرعت قابل تنظیم استفاده فراوان داشته و دارای استاتور و روتور سه فاز هستند. سیم پیچی استاتور از منبع ولتاژ AC سه فاز متعادل تغذیه و باعث القاء ولتاژ در سیم پیچی روتورمی شود. می توان سیم پیچی استاتور را طوری توزیع کرد که اثر چند قطب باعث به وجود آمدن نیروی محرکه مغناطیسی (mmf) چند سیکلی در اطراف فاصله هوایی شود. این میدان یک چگالی شار سینوسی در فاصله هوایی تولید می کند. سرعت چرخش میدان سرعت سنکرون نامیده شده و به صورت زیر تعریف می شود :

$$\omega_s = \frac{2\omega}{p} \qquad (۱-۲)$$

که p تعداد قطب و ω فرکانس منبع بر حسب rad/s است .

اگر ولتاژ فاز استاتور برابر $v_s = \sqrt{2}V_S \sin \omega t$ باشد، شار پیوندی (در رتور) به صورت زیر داده می شود:

$$\phi(t) = \phi_m \cos(\omega_m t + \delta - \omega_s t) \qquad (۲-۲)$$

ولتاژ القاء شده در هر فاز در سیم پیچی رتور برابر است با :

$$e_r = N_r \frac{d}{dt}\left[\phi_m \cos(\omega_m t + \delta - \omega_s t)\right] = -N_r \phi_m (\omega_s - \omega_m) \sin\left[(\omega_s - \omega_m)t - \delta\right]$$
$$= -sE_m \sin(s\omega_s t - \delta)$$
$$= -s\sqrt{2}E_r \sin(s\omega_s t - \delta) \qquad (۳-۲)$$

N_r تعداد دورهای هر فاز رتور

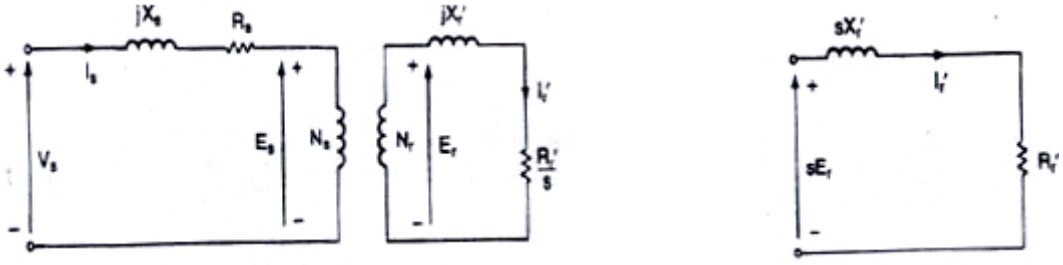
ω_m سرعت زاویه ای رتور

δ زاویه نسبی رتور

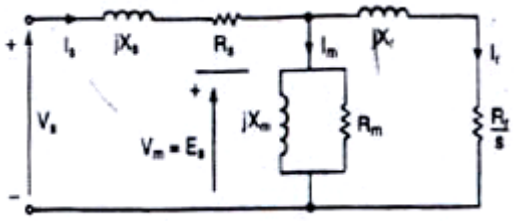
E_r مقدار موثر ولتاژ القایی رتور rms

و s لغزش است که به صورت زیر تعریف می شود :

$$s = \frac{\omega_s - \omega_m}{\omega_s} \qquad (۴-۲)$$



(الف) مدار روتور (ب) مدار استاتور و روتور



(پ) مدار معادل

شکل(۲-۱)مدل مداری موتور القایی

مدار معادل یک فاز رتور در شکل(۲–۱ (الف)) نشان داده شده و در آن R_r مقاومت هر فاز سیم پیچی رتور X_r راکتانس نشتی هر فاز رتور در فرکانس منبع و E_r ولتاژ القایی هر فاز در سرعت صفر(S=۱)است. جریان رتور برابر است با:

$$I_r = \frac{sE_R}{R_r^1 + jsX_r^1} = \frac{E_r}{R_r^1/s + jX_r^1} \qquad (۵-۲)$$

که R_r^1 , X_r^1 بطرف سیم پیچ رتور برده شده اند.

مدل مداری هر فاز موتور القایی در شکل(۲– ۱(ب)) نمایان است که R_S و X_r مقاومت و راکتانس نشتی هر فاز سیم پیچی استاتور هستند. مدل مداری کامل با تمام پارامترها که به استاتور ارجاع داده شده در شکل(۲- ۱(پ)) نشان داده شده است. R_m مقاومت معادل تلفات تحریک (تلفات هسته) و X_m راکتانس مغناطیسی است. وقتی موتور به منبع تغذیه وصل شود تلفات هسته استاتور

وجود دارد و تلفات هسته رتور به لغزش بستگی دارد. تلفات اصطکاک و باد (بی باری p) وقتی که ماشین می چرخد وجود دارد. تلفات هسته p_s شامل تلفات چرخشی بی باری p هستند.

سرعت و گشتاور موتورهای القایی به یکی از روش های زیر قابل تغیر است:

۱ – کنترل ولتاژ استاتور

۲ – کنترل ولتاژ رتور

۳ – کنترل فرکانس

۴ – کنترل ولتاژ و فرکانس

۵ – کنترل جریان استاتور

۶ – کنترل ولتاژ، جریان و فرکانس

برای داشتن سیکل کار گشتاور _ سرعت یک موتور، معمولا کنترل ولتاژ، جریان و فرکانس استفاده می شود. که در زیر به برخی از آنها اشاره می شود.

۲-۲-۲ کنترل ولتاژ استاتور:

معادله زیر نشان می دهد که گشتاور متناسب با مجذور ولتاژ استاتور است و کاهش ولتاژ استاتور، کاهش سرعت را در پی دارد. اگر ولتاژ ترمینال به bV_s برسد، معادله گشتاور تولیدی را به صورت زیر می دهد.

$$T_d = \frac{3R_r(bV_S)^2}{S\omega_S\left[(R_s + R_r/s)^2 + (X_S X_r)^2\right]} \qquad (۶-۲)$$

که $b \leq 1$ است .

شکل (۲ – ۲) مشخصات گشتاور- سرعت را برای مقادیر مختلف b نشان می دهد. نقاط تلاقی با خط بار نقاط کار پایدار را نشان می دهد. در هر مدار مغناطیسی، ولتاژ القاء شده متناسب با شار و فرکانس است و مقدار موثر شار فاصله هوایی به صورت زیر بیان می شود: